

Multi time-step tomographic wave-front reconstruction for wide field Adaptive-Optics in astronomy

著者	大野 良人
号	70
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第2964号
URL	http://hdl.handle.net/10097/64217

論文内容要旨

(NO. 1)

氏 名	大野 良人	提出年	平成 27 年
学位論文の 題 目	Multi time-step tomographic wave-front reconstruction for wide field Adaptive-Optics in astronomy (天文学における広視野補償光学のための複タイムステップトモグラフィー波面再構成)		

論文目次

1 Introduction to Wide-Field AO Systems and Tomographic Reconstruction

- 1.1 Background
- 1.2 Atmospheric Turbulence
- 1.3 Principle of SCAO system
- 1.4 Wide-Field Adaptive Optics
- 1.5 Tomographic Wave-Front Reconstruction
- 1.6 Object of This Thesis

2 Methodology

- 2.1 Tomographic Wave-Front Reconstruction
- 2.2 Pre-Estimation Method for Required Parameters

3 Analytical Evaluation 42

- 3.1 Analytical Tomographic Error
- 3.2 Model
- 3.3 Effect of Lack of Information
- 3.4 Analytical Performance of Multi Time-Step Reconstruction
- 3.5 Dependency on Time Difference Δt

4 Numerical Simulation

- 4.1 Simulation Setting
- 4.2 Simulation Results

5 Laboratory Test with RAVEN

5.1 RAVEN

5.2 SLODAR and Wind Estimation

5.3 Multi Time-Step Reconstruction

5.4 Comparison with a numerical simulation

6 On-Sky Evaluation with RAVEN

6.1 On-Sky Performance

6.2 Off-Line Analysis

7 Conclusion

論文要旨

In this thesis, we develop and evaluate a new tomographic wave-front reconstruction method for wide-field adaptive optics (WFAO) systems, called multi time-step wave-front reconstruction, to solve the lack of information in tomographic reconstructions and expand the field of regard (FoR) of WFAO systems. Also, we evaluate a method to estimate wind speeds and directions at multiple altitudes using the measurements from multiple wave-front sensors. This wind estimation method is required to implement the multi time-step reconstruction. The basic idea of the multi time-step reconstruction is to increase the information using the measurements at both the current and previous time-steps, which requires wind speeds and directions of wind and the frozen flow assumption.

First, we demonstrate the influence of the lack of information in the tomographic reconstruction. Then, we present that the multi time-step tomographic reconstruction method is effective to reduce the tomographic error due to the lack of information.

Second, we show the result of the numerical simulation of the tomographic reconstruction on a multi-object adaptive optics (MOAO) system on a future extreme large telescope. The numerical simulation shows that the multi time-step reconstruction increases Strehl ratio (SR) over a field of regard of 10 arcminutes diameter by a factor of 1.5–1.8 if we know the wind speeds and directions.

Third, we evaluate the multi time-step reconstruction and the wind estimation method in the laboratory experiment on RAVEN, which is a MOAO demonstrator. We can successfully measure the wind speeds and directions in the laboratory experiment. Also, the multi time-step reconstructor can increase an ensquared energy (EE) in a 140 mas box by 0.03–0.05.

Finally, we present the on-sky performance of the multi time-step reconstruction and the wind estimation with RAVEN on the Subaru telescope. Unfortunately, there is no clear improvement by the multi time-step reconstruction because of the error of the wind estimation. With the off-line analysis with the on-sky measurements of the wave-front sensors, we improve the wind estimation method and re-evaluate the multi time-step reconstruction. We conclude that the multi time-step reconstruction can reduce the WFE compared with the normal tomographic reconstruction if the decay ratio of the cross-correlation of WFS slopes is more than 0.7 and there is no dome seeing.

論文審査の結果の要旨

大野良人氏は、次世代地上超大型望遠鏡で高空間分解能観測を多数の天体に対して同時に行うことが出来る多天体補償光学を実現するために必要となる、大気揺らぎの空間構造の新しい推定手法について研究を行い、博士論文として取りまとめた。補償光学は地上望遠鏡において高空間分解能観測を実現するために必須の手法となっている。多天体補償光学はその中でも複数の波面センサーによる光の位相ずれの測定情報を用いて、位相ずれのもとになる大気揺らぎの空間構造を推定し、それぞれのターゲット天体に対して最適な補償を行うことで、多数のターゲット天体を同時に高空間分解能で観測しようという手法である。その根幹となる技術は大気揺らぎの空間構造を高さ方向に分解して推定するトモグラフィー推定法である。大野良人氏はトモグラフィー推定法の精度を上げ、これまで考えられてきたよりも広視野に散在する天体に対して多天体補償光学の観測を可能にする複タイムステップトモグラフィー推定法を提案した。新しい手法の予測性能について、解析的な手法での性能評価、数値計算での性能評価、実験室光学系での性能評価を行い、査読論文として出版した。国立天文台すばる望遠鏡を用いた実観測における性能評価の結果も合わせて、博士論文として取りまとめた。

大野良人氏が提案する複タイムステップトモグラフィー推定法は、複数の時間での波面センサーによる測定情報を同時に用いて実効的に測定点を増やし、トモグラフィー推定の精度を上げ、これまで認識されてきたよりも広い領域での補償を可能にする方法である。新しい手法の基礎となる情報としては大気揺らぎの移動を記述する風速・風向の高さ分布があり、大野良人氏はトモグラフィー推定結果の時間空間相関を取るという新しい手法を用いてこれらの情報を推定する手法についても確立した。これらの新しい手法についてすばる望遠鏡に搭載した多天体補償光学実験装置 R A V E N を用いて評価を行い、風速・風向の推定法と複タイムステップトモグラフィーの有効性について確認した。一方で実際の天体観測に適用する際に問題となる点も見つかり、今後さらに研究を進める必要もある。これまでの研究成果は自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、大野良人氏提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。